

Kutatási célok, módszerek és eszközök

Általánosan ismert tény, hogy a szív- és érrendszeri megbetegedések világ legtöbb országában – beleértve hazánkat is – a vezető morbiditási és mortalitási okok között található. A szív elektromos tevékenységével összefüggő nemzetközileg is elfogadott non-invazív diagnosztikai módszerek a hagyományos standard 12 elvezetéses elektrokardiogramra (EKG) épülnek. A sokcsatornás EKG-ból nyerhető testfelszíni potenciáltérképek (TPT) használata közel 40 éve kezdődött és azóta számos tanulmány rámutatott arra, hogy a TPT-ből diagnosztikai értékkel bíró többlet információ nyerhető. A TPT a mérés időtartamára vonatkozólag pontosabb információt nyújt a szív elektromos forrásainak térbeli eloszlásáról, annak időbeli folyamatairól. A kutatásunk célja az életveszélyes aritmiához vezető elváltozások azonosítása. Vizsgálataink során ischemias területek, re-entry gócok és lokális szívizom akciós potenciál torzulások non-invazív felismerésére koncentráltunk. Modell kísérletekkel, valamint valós adatokon hasonlítottuk össze a diagnosztikus értékét a repolarizáció mérésére általunk javasolt aktiváció-visszatérési intervallumnak (AVI) és a korábban használt módszereknek. Statisztikai eszközökkel vizsgáltuk, hogy az egyes diagnózisok esetén milyen eloszlást mutatnak az egyes vizsgálati módszerek értékei.

A szívizom lokalizált diagnosztikai problémáinak tisztázásához szükséges információ, a testfelszínén mérhető potenciáeloszlás finom térbeli részleteiben rejlik. A sikertelen beavatkozás során készült TPT felvételeket összevetettük a sikeres, tehát endokardiális eredetű tachikardiából származó térképekkel és ehhez egy a fiziológiai tulajdonságokat figyelembe vevő testmodellt generáltunk, amelyen a korábbinál pontosabban ill. nagyobb biztonsággal lehet a gócot meghatározni. A validálást valós mérések és numerikus szívmodellen elvégzett kísérletsorozatokkal végeztük el.

Klinikai adatgyűjtés, adatbázis-fejlesztés

Külföldi adatbázis elemzése

A betegcsoport kialakításához a hirtelen szívhalál ma használatos preventív terápiás eszközének a beültethető defibrillátornak (a készülék érzékeli a szabálytalan szív működést és automatikusan defibrillálja a beteget) a meglétét tekintettük az egyik legfontosabb alapnak. A jelenlegi orvosi törekvés a szenzitivitás növelése, ami együtt jár a specifikusság csökkenésével, azaz minél több beteget kezelnek beültethető defibrillátorral, annál több hirtelen halált előznek meg, de ugyanakkor annál több beteg megy keresztül felesleges beavatkozáson.

1. *Aritmia szempontjából alacsony rizikójú csoport (Manitoba adatbázis)* A kanadai Manitoba állambeli Health Sciences Centerben egy olyan adatbázist elemeztünk, amelyben 3983 fiatal, egészséges férfi egészségügyi adatai álltak rendelkezésre, amelyet 1948. július 1. óta követnek. Az adatgyűjtés kezdetekor a résztvevők átlagos életkora 30.8 ± 6.1 év volt. Az résztvevők 90%-a 20-39 éves korcsoportba esett. Az adatok követése 1993-ig, összesen 45 évig folytatódott. 1993 július 1-ig a résztvevők 42%-a, 1690 halálozott el, míg 2136 résztvevő (54%) életben volt, 157 résztvevőről (4%) pedig nem áll rendelkezésre információ.

2. *Aritmia szempontjából magas rizikójú csoport (Torontói adatbázis):* A torontói St. Michael's Hospital Kanada legnagyobb defibrillátor beültető központja, jelenleg 467 defibrillátoros beteg követésére van lehetőségünk. Első lépésben minden páciensre elvégeztük az alapvető non-invazív méréseket. Ennek az adatbázisnak az előnye a Manitoba adatbázissal szemben, hogy a kamrai fibrilláció esetek (amelyek ekvivalensek a hirtelen szívhalállal) pontosan nyomon követhetőek a beültethető defibrillátor adattárolásának köszönhetően, így lehetőség van a hirtelen szívhalállal egyenértékű események után méréseket végezni a betegeken. Az adatbázisban jelenleg 571 beteg szerepel.

A hirtelen halál meghatározására a WHO jelenleg érvényes szabályát alkalmaztuk (a halál a tünetek fellépésétől számított 1 órán belül következett be). A nem szíveredetű hirtelen halál felismerése sok esetben jelentős nehézséget okozott. Többváltozós variancia analízist alkalmazva a következő alcsoportoknál találtunk szignifikáns eltérést a hirtelen szívhalál gyakoriságában: Korábban infarktuson átesett betegek, 50 éves életkor felettiiek, kórházi kezelés szívelégtelenséggel, bal kamrai ejekciós frakció 30% alatt, pitvar fibrilláció az anamnézisben, korábban előforduló kamrai tachyarrhythmia. Az eredmények összhangban vannak az irodalomban korábban közölt megfigyelésekkel, azonban most sikerült a hipotézist egy nagyméretű adatbázison is validálni.

Az egyváltozós módszerrel alátámasztottuk a kamrai tachycardia és a szívinfarktus anamnézisében fontos szerepet betöltő klinikai prediktorokat. A széles QRS-ű betegek körében tendenciaszerűen gyakoribb volt a kamrai aritmia, ami arra a sokat vitatott jelre utal, hogy esetleg nemcsak abnormális repolarizáció, de abnormális depolarizáció is fokozhatja a beteg hirtelen halál rizikóját.

Hazai mérések

1. *Aritmia szempontjából alacsony rizikójú magyar csoport:* A kutatóhelyen működő potenciál-térképező mérő és döntéstámogató rendszerrel eddig 183 mérést végeztünk (95 férfi, 88 nő, átlagéletkor 50,6 év). Az esetek többsége normálnak tekinthető kontrol csoportba tartozott. A mérőrendszer új értelmezési eljárások kidolgozását is segíti, mivel a rendszer maximálisan 1 μ V reziduális zajú ciklus átlagokat számol, így az érrendszeri válasz (akár gyógyszeres kezelés hatására is) vizsgálható QRS, QRST, Laplace és AVI térképek alapján. Az értékelés során meghatározható az értágító gyógyszerre adott válasz (tranziens) idő- és térszerinti folyamata, a terhelési válasz során az aritmia készség változása, a repolarizáció diszperziójának kvantitatív vizsgálata alapján. A módszerrel követhető többér-betegség esetén a rosszul ellátott szívizom régiók ereinek „megnyílása”, majd „bezáródása”. Az ARI és Laplace térképek alapján látható, hogy az aritmia-készség a gyógyszer okozta tranziens végén jelentkezik.
2. *Aritmia szempontjából magas rizikójú magyar betegcsoport:* Az Országos Gyógyintézeti Központtal (OGYK) és a BM Központi Kórházával együttműködve mértünk és feldolgoztuk a TPT adatait non-Q típusú infarktusoson átesett és instabil koszorúér szindrómás betegeknek gyógyszeres terhelés mellett. Ezek az esetek a hirtelen szívhalál tekintetében az egyik legmagasabb rizikójú csoportnak tekinthetők. Az adatbázisban 266

validált eset található. Mértünk ischemias és infarktusos betegek (PTCA előtti és utáni állapotban történő) gyógyszeres terhelés melletti TPT felvételeit. Nyugalmi helyzetben készített és gyógyszerrel, valamint fizikai terheléssel kiváltott öt perces, azaz hosszú felvételeket használtunk változások mérésére. Ezekkel az adatokkal lehetővé válik az eltérő fiziológiai forrásból adódó – vagyis változó érzőületű esetén bekövetkezett – potenciál kiesés szeparálása statisztikai módszerekkel.

Statisztikai módszereken alapuló vizsgálatok

Az adatbázis elemzése alapján nyugalmi és terheléses TPT felvételek felhasználásával nondipolaritási indexeket, Laplace térképeket és tranzienseket származtattuk. A normál, aritmiás, ischemias populáció átlagától vett eltérést értékeltük, amit a szórás eltérés nagyságával és helyével jellemeztünk normalizált ciklusok integráltérképei esetében. Ennek hatékony eszköze az önreferenciás vizsgálatok során tapasztalható változások mértéke, a nyugalmi vizsgálat variabilitása, valamint a terhelésben bekövetkezett változás tranziense. Vizsgálataink a forráskiesés és a repolarizációs zavarok összefüggését kereste. A szívizom szövetek lokális oxigén hiányos működésének kimutatására az un. departure index térképeket használjuk.

Az aritmia készség felderítésre integráltérképekből és származtatott paraméterek alapján

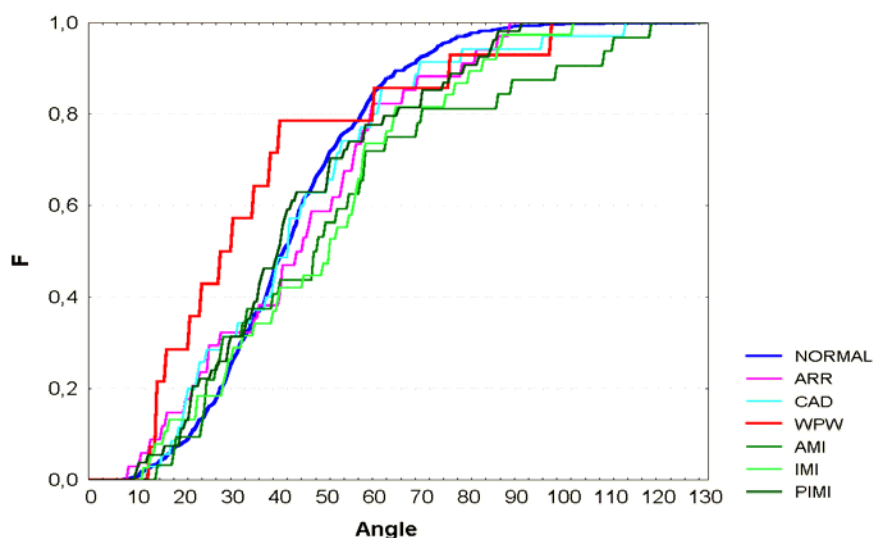
Az integráltérképek (QRS és QRST) egymáshoz viszonyított gradienseben bekövetkező ciklusonkénti és átlagolt ciklusok esetében önreferenciás vizsgálatnál bekövetkezett időbeli és térbeli változás nagyságának értékelése (korreláció, ingadozási tartomány). A térképek által reprezentált vektorok által bezárt szöget elemeztük. Ezek alapján arra az újszerű megállapításra jutottunk, hogy a depolarizációt és repolarizációt reprezentáló térképek közötti korreláció, valamint a vektorok által bezárt szög alkalmas paraméter a stabil állapotú (egészséges populáció és régen lezajlott patológiás állapot utáni állandósult állapot) és egyes aktív patológiás csoportok szeparálására.

Az egyénre vagy csoportra vonatkozó kritikus határértékek rögzítése után variancia és diszkriminancia analízissel, valamint non-parametrikus eljárással (Khi-négyzet χ^2 / Fisher test) a paraméterek közötti összefüggés felhasználásával törekszünk a legfontosabb patológiás állapotot befolyásoló – a katéteres beavatkozás előtti és utáni állapot felmérésének céljából – faktorok meghatározására, majd értékelésére.

Megállapítottuk, hogy a kamrai aktiváció szekvenciája (QRS integráltérképpel jellemezve) és a kamrai repolarizáció térbeli diszperzitása (QRST integrál térképpel jellemezve) között állandósult állapotban stabil kapcsolat mutatható ki. Vagyis krónikus, régóta fennálló betegségek esetén a többségi átlagolt ciklusok aktivációs szekvenciájának depolarizációs szakaszában bekövetkezett valamely változás, törvényszerűen magával vonja a repolarizációs tulajdonságok jellemzésére használt QRST integráltérképek (lassú, több hét vagy több hónap alatt végbemenő) megváltozását. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a megváltozott aktivációs szekvencia magával vonja az akcióspotenciálok hullámalak változását is, ellentétben az eddigi feltételezéssel. Ennek alátámasztására bizonyítottam, hogy statisztikailag nincs különbség a különböző patológiás csoportok esetén a két integráltérkép (esetemben 192

elemű) vektorai által bezárt szög (α) empirikus eloszlása között. Az α szögek mediánja a klinikai értelemben különböző, de önmagukban homogén részpopulációkon belül 40-50 fok közöttinek adódott, az empirikus eloszlások homogenitása a Kolmogorov-Szmirnov teszt értelmében nem mutatott szignifikáns eltérést.

A kamrai depolarizáció ill. a ventrikuláris gradiens térbeli viszonyait jellemző QRS ill. QRST integráltérképek felhasználásával meghatároztuk a Nitromint impulzus-szerű hatását a depolarizáció és repolarizáció forráseloszlására, normál és ischemias populáció esettanulmányai alapján, 15 perces időtartományon belül. Hasonlóan, jellemeztük a változásokat a tranziens folyamat fizikai lényegét kifejező QRS és QRST nondipolaritási index, az α szög és a bevezetett departure index térkép (DIM) terület-kiesésre jellemző paraméterekkel is. Megállapítottuk, hogy egészséges pácienseknél a depolarizációra és repolarizációra vonatkozó nondipolaritási index, az α szög és a szívfrekvencia között szignifikáns pozitív korreláció mutatható ki.



Az α szög empirikus eloszlása egészséges és különböző patológiás csoportok esetében

Az aritmia készség felderítése: Koszorúér szűkületének és a TPT összefüggésének vizsgálata

Méréseket végeztünk a lokális szívizom sérülések testfelszíni azonosítása céljából, mivel non-Q infarktust (NQMI) és instabil anginát (UA) követően lényegesen gyakoribb a malignus aritmia előfordulása. Az előzőekre utaló patológiás jelek ugyanakkor nehezen diagnosztizálhatók, mivel utólag nem minden esetben mutatnak eltérést a hagyományos 12-elvezetéses EKG-n. A TPT által nyújtott nagyobb fokú régió felbontás révén lehetővé vált a funkcionális, elektromos eltérések detektálása ezért több esetben használhatóbbnak bizonyult a standard EKG-nál. A vizsgálatok célja a koszorú erek sérülésének, és az egyidejűleg mérhető potenciál kiesések lokalizációi közti összefüggések kvantitatív meghatározása volt NQMI, UA-s betegekben. A potenciál kiesés régióinak beosztása Selvester sémája alapján készült. 207 NQMI, UA - s beteget és 59 egészséges egyént vizsgáltunk. A számítógépes program segítségével izopotenciál térképek generálásához 2 sec-ként vettünk mintát. Ismertek voltak az érelzáródások, ezek következtében a TPT-n mérhető potenciál kiesések, a további elemzéshez többváltozós logisztikus regressziót alkalmaztunk. A módszerrel meghatároztuk az inverz és forward kardiológiai összefüggést is a TPT nyugalmi térképei esetében a test

felszíni potenciál kiesések kvalitatív és egyéb kvantitatív jelei és a koszorúér szűkületek között. (Az alábbi rövidítések a coronaria erek orvosi terminológiáját követi.)

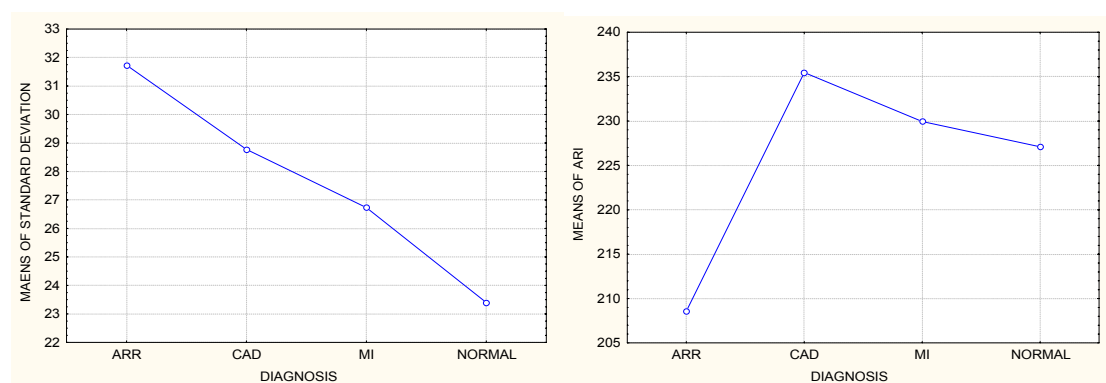
Forward eredmények: A sérülés kombinációiból az anteroseptal-apical régió potenciál-kiesésére nem lehet szignifikánsan következtetni, hasonlóan a marginális és diagonális artériák elzáródásai sem mutattak szoros összefüggést a TPT által jelzett potenciál kiesések helyeivel. A koszorúerek nagy variabilitása miatt a CX sérülések ill. annak kivételései voltak a legnehezebben meghatározhatók.

Inverz eredmények: a TPT diagnosztikus értéke az érléziók vonatkozásában: magas szenzitivitást és negatív prediktív értéket találtunk a LAD dist (0.83, 0.97), CX (0.89, 0.93), RC-RDP (0.84, 0.81) esetében; meghatároztuk hogy bizonyos potenciál kiesések esetén mely erek elzáródásának nő meg a bekövetkezésének esélye (pl. inferior közép kieséskor RC-RDP erek, midseptal kieséskor a LAD prox. lézió esélye növekszik). A LAD és RC-RDP lézióra nagy valószínűséggel tudunk következtetni, a CX, CX marginális, LAD-diagonális erek lézióját viszont kevésbé tudtuk felismerni.

A fenti eredmények ismeretében megállapítható, hogy egy ilyen jellegű módszerrel non-invazív és költséghatékony módon mérhető fel majd az erek állapota és a páciens veszélyeztetettsége a hirtelen szívhalál tekintetében. Korlátot jelent jelenleg, hogy a TPT kiértékelése nem automatizált, és csak egy (nem átlagolt) ciklust használ fel így az számos hiba forrása.

Az aritmia készség felderítésre az AVI és QTI összehasonlítása alapján

Testfelszíni mérési adatokon értelmeztük az AVI-t. Ehhez normál, ischemias, infarktuson átesett és arrhythmias epizódot elszenvedett páciensek TPT-it használtuk. A statisztikai vizsgálatokhoz a QT intervallumok és az AVI első és másodrendű momentumait használtuk. Modell kísérletekkel kor és nem szerinti csoportokat képeztünk, melyek esetében a származtatott EKG paraméterekkel szignifikáns eltéréseket mutattunk ki. A statisztikai vizsgálatokhoz a QT intervallumok és az AVI első és másodrendű momentumait használtuk. Modell kísérletekkel kor és nem szerinti csoportokat képeztünk, melyek esetében a származtatott EKG paraméterekkel szignifikáns eltéréseket mutattunk ki. A csoportok szeparálásához a variancia analízist, majd a több változós Tukey és Scheffe tesztek alkalmaztuk. Ezt követően lineáris diszkriminancia analízissel validáltuk az eredményeket.



32 elvezetésből származtatott AVI paraméterek átlaga (balra) és szórása (jobbra) különböző betegcsoportok esetében. Időegység: ms. ARR: Aritmiás, CAD: koszorúérbeteg, MI: korábbi infarktus, NORMAL: egészséges

A szeparálási vizsgálat eredménye

Összehasonlított csoportok	Percent correct	Percent correct	Total
ARR vs. NORMAL	81.0	94.3	93.2
CAD vs. NORMAL	54.5	82.7	79.2
MI vs. NORMAL	63.8	76.8	72.3
ARR vs. MI	76.2	86.0	84.5
CAD vs. MI	60.6	71.8	69.3
ARR vs. CAD	90.9	85.3	87.5

AVI-val lényegesen jobb szeparálási eredmények érthetőek el, mint a QTI segítségével. A páronkénti összevetésnél az aritmiás és normál csoportok esetében 81 % szenzitivitást és 94.3 % specificitást találtunk. Ugyanakkor a QTI esetében ezek az értékek 75, illetve 82.3 % voltak, azaz 10%-kal kisebb SDLA-ban a 32 elvezetéses ARI esetében. Az eredmény a négy csoportos SLDA-ra vetítve igazolta az ARI roboszsuságát a repolarizáció variabilitásának feltérképezésére. A QTI erőteljesen változott a kor és a nemek függvényében, az AVI invariánsnak mutatkozott. A QTI érzékenynek mutatkozott a különféle szívproblémákra, de az egyes problémák szeparálására önmagában nem alkalmas, különösen vonatkozik ez az aritmia veszélyes állapotra. Ellenben az AVI pontosan a repolarizációs zavarokkal összefüggő aritmiás állapot szeparálására találtuk alkalmasnak, míg az egyéb diagnózisra kevésbé mutatott érzékenységet. A varianciát, valamint az AVI térbeli eloszlását tekintve megerősítést nyert az AVI lokális zavarokra vonatkozó érzékenysége. Arra a konklúzióra jutottunk – ami a Torontói adatbázis vizsgálata megerősített –, hogy az AVI és a QTI együtt hatékonyabb eszköz, mint akármelyikük külön-külön. Ugyanakkor továbbra is korlátozott érvényességet jelent visszatérési idő testfelszíni meghatározásából adódó bizonytalanság.

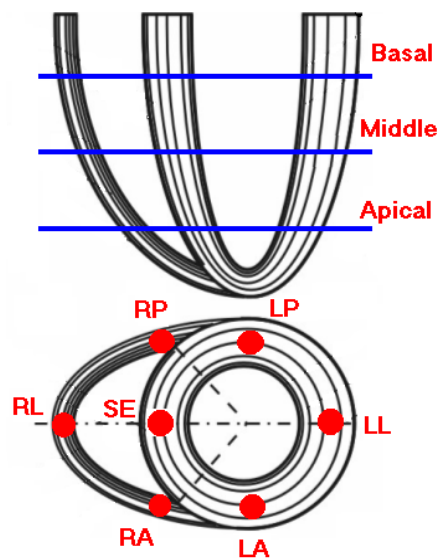
Kutatásaink elsősorban a korai diagnózis felállításához (szűréshez) nyújtanak értékes többlet információt. Emellett az eredményeket közvetlen terápiás célokra is lehet alkalmazni, mivel – hipotézisünk szerint – az AVI szignifikáns eltérése fontos indikatív paraméter a beültethető defibrillátor szükségességének eldöntéséhez. Legfontosabb eredményünknek azt tekintjük, hogy a korábban a szívfelszíni adatokon pontos repolarizáció becslést mutató AVI testfelszínen statisztikai módszerekkel alkalmasnak bizonyult a repolarizációs eltérések kimutatására. Míg a kontroll paraméterek alapvetően a normál és patológiás mintákat szeparálta az AVI alapvetően az arrhythmias és az egyéb diagnózisok (beleértve az egészséges populációt) között képes különbséget tenni.

Modell kísérletek

A modell kísérletek területén elkészítettük a korábban önállóan használt szívfelszíni numerikus modellhez a testfelszíni potenciálok meghatározására alkalmas torzó modell interface-t. A szívmodell felépítését tekintve kizárólag a kamrára korlátozódik, kvázi-ellipszoidokból generálható, az aktiváció előre definiálható lokalizációjú és sorrendű aktivációs pontokból indul ki és a Huygens elvnek megfelelően terjed. Az egyszerűsített,

trapéz alakú aktivációs potenciál (AP) karakterisztikák 20 különböző beállítása lehetséges: a szív modellben definiált héjszerkezetnek a jobb és balkamrának, valamint a patológiás állapotoknak megfelelően. A tartományonként homogén torzómodellel a szívmodellből származó epikardiális potenciál-értékekből a test felszínét reprezentáló háromszögelt torzó csúcspontjaiba számolt potenciál-eloszlások meghatározhatók. A rendszer jelenleg 6 térfogatot (epi- és endokardiális térfogatok, tüdők és torzó) kezel, ezeknek konduktivitása változtatható, a test felszíni potenciálokat pedig, közel 10 elvezetés-rendszerre vonatkoztatva képes kiszámolni. A modell a korlátai ellenére alkalmas a szív elektromos tevékenységének normál, vezetési zavarral rendelkező, transz- és intramurális infarktuszainak szimulálására. Továbbá kísérleteket végeztünk a TPT modellezéssel elérhető felbontóképessége alsó korlátjának meghatározására és a modellezett szívszövet és vezetési tulajdonságok zavarainak TPT-re kifejtett hatásainak vizsgálatához. A kialakított rendszer lehetővé teszi a teljes forward probléma numerikus megoldását és így többek között az aktiváció visszatérési idő testfelszíni eloszlásának vizsgálatát előre definiált forráseloszlás esetén, azaz a különféle patológiás elváltozások hatásának a szimulálását.

Diagnosztikai szempontból fontos a szívizomzatban található nem-aktiválható területek észlelése, hiszen ezek jelenléte lényegesen növeli a hirtelen szívhalálra vonatkozó hajlamot. Az ilyen területek méretüktől függően könnyen, vagy egyáltalán nem detektálhatók hagyományos 12 elvezetéses EKG-val. Modellvizsgálatokkal igazoltuk, hogy a TPT alkalmas olyan szívszövet hibák detektálására is, mely maximális eltéréseit tekintve nem a mellkasi elvezetésekben jelentkezik, illetve nagyfelbontású TPT jelátlagolt szakaszán kisméretű eltérések is detektálhatók. A nem aktiválható területek jelenléte régi infarktusra, valamint ischemias jelenségre utal, előfeltételei lehetnek aritmiának így a páciensek kezelésében nagy szerepet játszanak.



Modellezett lokális bioelektromos szívszövet hibák elhelyezkedése a kamrákban – metszeti kép (LA- Left anterior, LL- left lateral, LP- left posterior, SE- Septal, RA- right anterior, RL-right lateral, RP- right posterior) mind a 7 lokalizációban minden a felső ábrán jelzett magasságban (a-apical, csúcsi; m-middle középső, b-basal bazális)

A bioelektromos szívszövet-hibák szimulálásával az alábbi kérdésekre kerestünk választ:

- Mi az elektrokardiológia felbontási korlátja, vagyis milyen méretű az a legkisebb szívszövet hiba, mely már a testfelszíni potenciálértékek szintjén is mérhető elváltozásokat okoz és megkülönböztethető a normáltól?
- A nem aktiválható térfogatok helye és mérete miképpen befolyásolja a test felszíni potenciálok értékét, detektálhatóságát?
- Meghatározható-e minden egyes nem aktiválható térfogathoz a test felszínén egy olyan kivetülési terület, mely diszkriminatív tulajdonságaival jelzi az epikardiális elváltozást.

A fenti kérdések megválaszolására szimulációkat végeztünk. A szimuláció során nem ingerelhető területeket helyeztünk el a normál szívben, ezzel létrehoztam különböző régi infarktusnak megfeleltethető patológiás elváltozásokat. A kamrákban az ábra által szemléltetett módon 3 magasságban, magasságonként 7 pozícióban. 5 különböző méretben, modell egységekben kifejezve (MU=model unit) 2-5 MU sugarú térfogatokat 1 MU lépésként, illetve 5-25 MU sugarú nem aktiválható térfogatokat helyeztünk el 5 MU lépésként azonos középponttal, melyek nagyobb méretek esetén átlapolódhatnak.

Az elektrokardiológiai modell felbontási korlátai

Az elektrokardiológia felbontási határait az aktiváció időbeli és térbeli mintájának megfigyelése céljából tanulmányoztuk, a fenti ábra által bemutatott nem aktiválható területek szimulálásával. A modellalapú becslést a lehető legjobb jel-zaj arány elérése motiválta a későbbi nagyfelbontású mérések esetén, mivel a μV nagyságrendű eltérések a szívizom elektromos tulajdonságaira vonatkozóan fontos biofizikai információt hordoznak és ezeket más módszerrel nem lehet mérni. Epikardiális és endokardiális hullámfront áttörésnél EKG jelben megfigyelhetőek az ún. „notch” és „slur” események („jump time”), ami a nem folytonos aktivációterjedésnek (discontinuous propagation) tulajdonítható és általában aktivációs hullámok találkozásánál/ütközésénél, vagy a térfogatok határoló-felületeinél következnek be.

Különbségtérképekkel és becslési hiba felhasználásával meghatároztuk a test felszíni potenciálokban mérhető jeleltéréseket. Az eredmények alapján elmondható, hogy miokardiumban elhelyezett kisméretű (5MU) nem-aktiválható térfogatok már regisztrálhatók, az ennél kisebb méretű nem aktiválható térfogatok által generált eltérések pedig nem detektálhatók a test felszínén. Ez valós szív méreteket figyelembe véve azt jelenti, hogy 5-6 mm-es szív szövet hibák (régóta infarktuszok) patológiás elváltozásai TPT felvételen már kimutathatók, feltéve, ha a normál tartomány jól meghatározott.

Jelen szimuláció alapján valószínűsíthető továbbá az is, hogy a kisméretű már detektálható eltérések lokalizációtól függően egymástól szeparálhatók. Időben először a csúcs közeli eltérések, legkésőbb pedig a laterális régió bazális részén elhelyezett nem aktiválható területek által kiváltott potenciál-kiesések érzékelhetők. A szív testfelszínhez legközelebbi térfogatai által kiváltott – vagy épp fordítva a kieső potenciálértékei regisztrálhatók hamarabb (értsd csúcsi terület), míg a bazális rész testfelszínétől vett távolsága, így a források potenciál-eltérései is detektálhatók.

Ezek az összefüggések jól jellemzik az elektrokardiológiai modell szimulációjával a TPT-n detektálható eltérésekre vonatkozó felbontási képességet, amit másképp csak precíziós mérési és jelfeldolgozási módszerekkel lehet detektálni.